

Measuring device for discontinuous determination of elastic modulus, tensile yield strength etc. - has material-clamping receptacles mounted so that they can rotate in opposite directions, and has angle sensor and distance sensor for receptacles

Abstract (Basic): WO 9902962 A

The apparatus includes two receptacles (1,2) each with a drive for applying defined torques to the ends of a finite material (7) to apply a bending moment to the material. A measuring unit (8) determines the curvature of the material using a fixed sensor (1) and a sensor (2) which can move horizontally in the plane in which the material is clamped.

The receptacles counter-rotatably mounted so that the clamped material can be deformed alternately concavely and convexly. The measuring unit contains a rotation angle sensor for at least one of the receptacles, and a distance sensor for measuring the separation between the two receptacles.

USE - Also for measuring yield strength during non-proportional elongation, strain hardening modulus, parameters of alternating loads, or predetermined curvature of product such as sheet metal, strips, profiles, tubes, or multi-wire products.

ADVANTAGE - Loading in alternating directions can be measured even for curved materials.

Dwg.1/6

?



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 197 29 438 A 1

51 Int. Cl.⁶:
G 01 N 3/02
G 01 B 21/20
G 01 B 21/16
G 01 B 21/32

21 Aktenzeichen: 197 29 438.3
22 Anmeldetag: 9. 7. 97
43 Offenlegungstag: 11. 2. 99

DE 197 29 438 A 1

71 Anmelder:

Witels Apparate-Maschinen Albert GmbH & Co KG,
12277 Berlin, DE

74 Vertreter:

Dr.rer.nat. Rüdiger Zellentin, Dipl.-Ing. Wiger
Zellentin, Dr. Jürgen Grußdorf, 80331 München

72 Erfinder:

Paech, Marcus, Dipl.-Ing., 19322 Wittenberge, DE

56 Entgegenhaltungen:

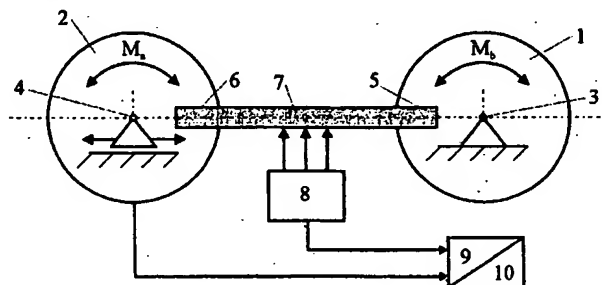
DE-Z: Materialprüf. 36 (1994) 3;
PLIETSCH, R. u.a.: "Querkraftfreie Biegeprüfung",
S. 61-64;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Gerät zum Bestimmen von spezifischen Eigenschaften eines endlichen Richtgutes

57 Die Erfindung betrifft ein Gerät zur diskontinuierlichen Bestimmung des E-Moduls und/oder der Streckgrenze bzw. einer Dehngrenze bei nicht proportionaler Dehnung und/oder des Verfestigungsmoduls und/oder von Parametern der Wechselbeanspruchungen und/oder einer vorgegebenen Biegung eines endlichen Richtgutes (7), wie Bleche, Bänder, Profile, Rohre und insbesondere von draht- und mehrdrahtförmigen Richtgut mit zwei Aufnehmern (1, 2) für die Enden des Richtgutes (7), auf das ein definiertes Biegemoment aufbringbar ist und mit einer Meßvorrichtung (8) zur Ermittlung der Krümmungen des Richtgutes (7). Erfindungsgemäß sind die Aufnehmer (1, 2), der eine (1) ortsfest und der andere (2) in der Einspannebene des Richtgutes (7) waagerecht beweglich, jeweils in entgegengesetzte Drehrichtungen derart drehbar gelagert, daß das eingespannte Richtgut (7) konvex oder konkav verformbar ist, und daß jeder Aufnehmer (1, 2) mit einem Antrieb zur Aufbringung definierter Drehmomente ausgerüstet ist.



DE 197 29 438 A 1

Die Erfindung betrifft ein Gerät zur diskontinuierlichen Bestimmung des E-Moduls und/oder der Streckgrenze bzw. einer Dehngrenze bei nicht proportionaler Dehnung und/oder des Verfestigungsmoduls und/oder von Parametern der Wechselbeanspruchungen und/oder einer vorgegebenen Biegung eines endlichen Richtgutes, wie Bleche, Bänder, Profile, Rohre und insbesondere für draht- oder mehrdrahtförmiges Richtgut mit zwei Aufnehmern für die Enden des Richtgutes, auf das ein definiertes Biegemoment aufbringbar ist und mit einer Meßvorrichtung zur Ermittlung der Krümmung des Richtgutes.

Mit derartigen Geräten lassen sich Messungen bezüglich der Verformung eines Richtgutes nur in einer Richtung durchführen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Gerät der genannten Art dahingehend zu verbessern, das auch Beanspruchungen in wechselnder Richtung und beliebig oft meß- und auswertbar sind.

Diese Aufgabe wird durch ein Gerät mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Die Unteransprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen des Gerätes wieder.

Nachstehend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezug auf eine Zeichnung Fig. 1 und auf Diagramme Fig. 2 bis 6 näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel der Erfindung in schematischer Darstellung,

Fig. 2 eine Biegemoment-Krümmungs-Kurve der Erstbeanspruchung,

Fig. 3 eine idealisierte Spannungs-Dehnungs-Kurve,

Fig. 4 eine bezogene Biegemoment-Krümmungs-Kurve der Erstbeanspruchung,

Fig. 5 ein Verformungsverhalten bei Beanspruchung und erster Wechselbeanspruchung in entgegengesetzter Richtung,

Fig. 6 eine Biegemoment-Krümmungs-Kurve der Erstbeanspruchung und der Wechselbeanspruchung.

Das erfindungsgemäße Gerät weist zwei Aufnehmer 1, 2 auf, die jeweils um eine Drehachse 3 bzw. 4 drehbar gelagert sind. Die Drehachse 3 ist ortsfest angeordnet, wohingegen die Drehachse 4 in der Anordnungsebene der Drehachsen 3, 4 horizontal (siehe den Doppelpfeil) verschiebbar ist. Zwischen den Drehachsen 3 und 4 ist ein – nicht dargestellter – Abstandsmesser vorgesehen und mindestens ein Aufnehmer 1, 2 ist mit einem – nicht dargestellten – Drehwinkelmesser gekoppelt. Jeder Aufnehmer 1, 2 weist einen Halter 5 bzw. 6 auf, die einander zugewandt sind und zur festen Anordnung der Enden eines Richtgutes 7 dienen.

Jeder Aufnehmer 1, 2 ist mit einem nicht dargestellten Antrieb zu seiner Drehung in entgegengesetzte Richtungen (siehe den Doppelpfeil) um die Drehachsen 3, 4 gekoppelt. Hierbei kann der Antrieb beider Aufnehmer 1, 2 durch einen einzigen Reversiermotor erfolgen, wobei auch jedem Aufnehmer 1, 2 je ein Motor zugeordnet sein kann, wobei dann durch entsprechende Kopplungen und/oder Getriebe eine Synchronisation der aufgetragenen Drehmomente und/oder der Drehrichtungen gewährleistet werden kann.

In etwa zentral zwischen den beiden Aufnehmern 1 und 2 ist eine Meßvorrichtung 8 zur Ermittlung der Krümmungen des Richtgutes 7 angeordnet, wobei die jeweilige Krümmung aus den Abständen zwischen Richtgut 7 und Meßvorrichtung 8 errechenbar ist, die an mindestens drei – auch mehr – Punkten gemessen werden.

Alternativ läßt sich die jeweilige Krümmung aus der Korrelation zwischen dem gemessenen Drehwinkel mindestens eines Aufnehmers 1, 2 und dem gemessenen Abstand zwischen den Aufnehmern 1 und 2 ermitteln.

Das Gerät weist vorzugsweise einen Speicher 9 und/oder eine Auswerteeinheit 10 auf, denen nicht nur Daten von der Meßvorrichtung 8 sondern auch von den Antrieben der Aufnehmer 1 und 2 zugeführt werden. Von den Aufnehmern 1, 2 werden die Daten über das jeweils aufgetragene Biegemoment und/oder die Drehrichtung und/oder den Drehwinkel und/oder gegebenenfalls die Frequenz der Wechselbeanspruchungen erfaßt und den ermittelten Krümmungswerten zugeordnet.

Bei einer Erstbeanspruchung wird das eingespannte Richtgut 7 reinen Biegemomenten M_a und M_b ausgesetzt, wobei $M = M_a = M_b$ ist. Die Drehrichtung der Beanspruchung kann einerseits so sein, daß sich das Richtgut konvex oder andererseits in entgegengesetzter Richtung konkav verformt. Durch die horizontal bewegliche Anordnung der Achse 4 des Aufnehmers 2 wird eine Zugbelastung des Richtgutes 7 ausgeschlossen.

Die Drehmomente um die Achsen 3, 4 können unter Verwendung nicht dargestellter Faktoren, Sensoren und Regelkreise zeitlich synchron nach vorgegebenen Beanspruchungsplänen aufgebracht und gemessen werden, wobei das Richtgut auch wechselnd konkav und konvex verformt werden kann. Hierbei kann sich an eine Erstbeanspruchung, die beispielsweise eine konvexe Verformung des Richtgutes 7 zur Folge hat, eine Verformung in die entgegengesetzte Richtung mit konkavem Ergebnis anschließen. Durch Wechselverformungen können die Werkstoffkennwerte der Erstbeanspruchung, der ersten Wechselbeanspruchung sowie auch folgender weiterer Wechselbeanspruchungen bestimmt werden.

Parameter der Erstbeanspruchung sind der Elastizitätsmodul, der Verfestigungsmodul und die Streckgrenze. Bauschingerdehnungen, Bauschingerspannungen und Bauschingermodul sind Parameter der Wechselbeanspruchungen. Zur Bestimmung der Parameter sind Beanspruchungspläne und Auswerteverfahren zu erstellen, wobei gemäß einem Beanspruchungsplan definierte Biegemomente auf das Richtgut 7 aufgebracht und die jeweilige entsprechende Krümmung ermittelt wird. Aus einem konstanten Biegemoment über der wirksamen Länge des Richtgutes 7 resultiert über der wirksamen Länge auch eine konstante Krümmung. Im Ergebnis der Einstellung unterschiedlicher Biegemomente, zunächst beispielsweise in konvexer Richtung und der Ermittlung der entsprechenden Krümmungen des Richtgutes, liegt für den spezifischen Werkstoff des Richtgutes und der für den Querschnitt des Richtgutes gültige Zusammenhang zwischen Biegemoment und Krümmung vor. Bei einer ausreichenden Anzahl von Wertepaaren kann eine Biegemoment-Krümmungs-Kurve für die Beanspruchungsrichtung erstellt werden. Funktionale Zusammenhänge zwischen dem Biegemoment und der Krümmung lassen sich über Regressionsanalysen ermitteln. Durch den Einsatz analytischer und numerischer Rechenverfahren, die in der Auswerteeinheit 10 installiert werden können, sind die genannten Parameter des Werkstoffes des Richtgutes bestimmbar.

Aus den Informationen der für die Erstbeanspruchung relevanten Biegemoment-Krümmungs-Kurve sind die Streck-

grenze, der Elastizitätsmodul und der Verfestigungsmodul berechenbar. Aus einer erstellten Biegemoment-Krümmungs-Kurve, wie sie z. B. in Fig. 2 dargestellt ist, sind die Kennwerte:

M_s Moment bei maximaler elastischer Verformung sowie

K_s Krümmung bei maximal elastischer Verformung entnehmbar.

Unter Verwendung der Querschnittsabmessungen des Richtgutes ist das jeweilige Widerstandsmoment W_b unter Verwendung der für den Querschnitt gültigen Gleichung zu berechnen. Für den Kreisquerschnitt mit einem Durchmesser d gilt beispielsweise

$$W_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad \text{Gleichung 1} \quad 10$$

Die Streckgrenze σ_s des Richtgutes ergibt sich aus der Gleichung 2

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W_b} \quad \text{Gleichung 2} \quad 15$$

Unter Verwendung des Wertes der Krümmung bei maximal elastischer Verformung K_s , der Streckgrenze σ_s gemäß Gleichung 2 sowie der Dicke des Querschnitts (bei einem Kreisquerschnitt wäre dies der Durchmesser d) läßt sich aus der Gleichung 3 der Elastizitätsmodul E berechnen.

$$E = \frac{2 \cdot \sigma_s}{d \cdot K_s} \quad \text{Gleichung 3} \quad 25$$

Zur Bestimmung des Verfestigungsmoduls V , der dem Anstieg der Ausgleichsgeraden im plastischen Verformungsbereich der Spannungs-Dehnungskurve entspricht, wie sie beispielhaft in Fig. 3 dargestellt ist, wird eine für die jeweilige Querschnittsform gültige Gleichung, die den Zusammenhang zwischen bezogenem Biegemoment M^* und bezogener Krümmung K^* für die plastische Verformung ausdrückt, verwendet. Die Biegemoment-Krümmungs-Kurve der Erstbeanspruchung ist mit M_s und K_s in ihre bezogene Darstellung $M^* = f(K^*)$ zu transformieren (Fig. 4) bzw. es sind die Wertepaare (M^* , K^*) für den Anteil der plastischen Verformung zu bilden. Wird vorausgesetzt, daß das Richtgut einen kreisförmigen Querschnitt hat, kann mit Gleichung 4 der Verfestigungsmodul V berechnet werden. In die Gleichung geht zusätzlich der Elastizitätsmodul E ein. Bei anderen Querschnittsformen sind die entsprechend gültigen Gleichungen zu verwenden.

$$V = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot \sqrt{\frac{K^{*2}-1}{K^{*2}}} - 10 \cdot \sqrt{\frac{K^{*2}-1}{K^{*2}}} \cdot K^{*2} - 3 \cdot \pi \cdot K^{*3} + 6 \cdot K^{*3} \cdot \arccos\left(\frac{1}{K^*}\right) + 3 \cdot M^* \cdot \pi \cdot K^{*2}}{3 \cdot K^{*3} \cdot \arccos\left(\frac{1}{K^*}\right) - 6 \cdot \sqrt{\frac{K^{*2}-1}{K^{*2}}} \cdot K^{*2} + 11 \cdot \sqrt{\frac{K^{*2}-1}{K^{*2}}} \cdot K^{*2} - 8 \cdot \sqrt{\frac{K^{*2}-1}{K^{*2}}}} \cdot E \quad \text{Gleichung 4} \quad 40$$

Die Modellierung von Prozessen, die mit elastisch-plastischen Verformungen in wechselnder Richtung verbunden sind, setzt voraus, daß die Stoffgesetze des jeweiligen Werkstoffes des Richtgutes genügend genau bekannt sind. Sowohl die Verfestigungs- als auch die Entfestigungserscheinungen spielen dabei eine Rolle. Ein neues Stoffgesetz bzw. Werkstoffmodell nutzt zur Beschreibung von Entfestigungserscheinungen die Parameter Bauschingerdehnung, Bauschingerspannung und Bauschingermodul. Für die Erstbeanspruchung gelten die Gleichungen 5 und 6.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad \text{für } \epsilon \leq \epsilon_s \quad \text{Gleichung 5} \quad 50$$

$$\sigma = \sigma_s + (\epsilon - \epsilon_s) \cdot V \quad \text{für } \epsilon > \epsilon_s \quad \text{Gleichung 6}$$

Für die auf die Erstbeanspruchung folgende Wechselbeanspruchung in entgegengesetzter Richtung gelten die Gleichungen 7 bis 9. σ_F bezeichnet die Fließgrenze der Wechselbeanspruchung, ϵ_F die Dehnung an der Fließgrenze, ϵ_{Bau} die Bauschingerdehnung, σ_{Bau} die Bauschingerspannung und B den Bauschingermodul. Der Bauschingermodul B kennzeichnet den Anstieg der Spannungs-Dehnungs-Kurve im Bereich $\epsilon_F < \epsilon < \epsilon_{Bau}$.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad \text{für } \epsilon \leq \epsilon_F \quad \text{Gleichung 7}$$

$$\sigma = \sigma_F + (\epsilon - \epsilon_F) \cdot B \quad \text{für } \epsilon_F < \epsilon \leq \epsilon_{Bau} \quad \text{Gleichung 8}$$

$$\sigma = \sigma_{Bau} + (\epsilon - \epsilon_{Bau}) \cdot V \quad \text{für } \epsilon > \epsilon_{Bau} \quad \text{Gleichung 9.} \quad 60$$

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung zum berechneten Verformungsverhalten (Gleichungen 5 bis 9) bei wiederholter Belastung bzw. Beanspruchung. Um die Bauschingerdehnung ϵ_{Bau} und den Bauschingermodul B für eine der Erstbeanspruchung nachfolgende Beanspruchung berechnen zu können, ist es notwendig, aus der meßtechnisch mit dem Gerät ermittelten Biegemoment-Krümmungs-Kurve der Wechselbeanspruchung die Kennwerte

K_{Bau} Krümmung am Ende des Bauschingerbereichs und

K_F Krümmung bei maximaler elastischer Beanspruchung

zu bestimmen (Fig. 6).

Die Bauschingerdehnung ϵ_{Bau} berechnet sich für Richtgut mit kreisförmigem Querschnitt (Durchmesser d) mit der Krümmung am Ende des Bauschingerbereichs κ_{Bau} nach Gleichung 10.

$$\epsilon_{\text{Bau}} = \frac{d \cdot \kappa_{\text{Bau}}}{2} \quad \text{Gleichung 10}$$

Nach Ermittlung der maximal elastischen Dehnung der Wechselbeanspruchung ϵ_F nach Gleichung 11 und der Fließspannung σ_F nach Gleichung 12 kann durch Gleichung 13 der Bauschingermodul B berechnet werden.

$$\epsilon_F = \frac{d \cdot \kappa_F}{2} \quad \text{Gleichung 11}$$

$$\sigma_F = E \cdot \epsilon_F \quad \text{Gleichung 12}$$

$$B = \frac{\sigma_{\text{Bau}} - \sigma_F}{\epsilon_{\text{Bau}} - \epsilon_F} \quad \text{Gleichung 13}$$

Für die Bauschingerspannung σ_{Bau} gilt Gleichung 14, wobei σ_s die Streckgrenze der Erstbeanspruchung repräsentiert.

$$\sigma_{\text{Bau}} = \sigma_s \quad \text{Gleichung 14}$$

Die Gleichungen 4 bis 14 sind für den ersten Quadranten eines lokalen Koordinatensystems gültig, das dem ersten Quadranten des in Fig. 5 dargestellten globalen Systems entspricht. Um das Werkstoffverhalten bei Wechselbeanspruchung mit den Gleichungen 5 bis 14 gemäß Fig. 5 zu ermitteln, müssen unter Berücksichtigung von Vorzeichenkonventionen eine Koordinatentransformation und eine Koordinatenrücktransformation durchgeführt werden.

Patentansprüche

1. Gerät zur diskontinuierlichen Bestimmung des E-Moduls und/oder der Streckgrenze bzw. einer Dehngrenze bei nicht proportionaler Dehnung und/oder des Verfestigungsmoduls und/oder von Parametern der Wechselbeanspruchungen und/oder einer vorgegebenen Biegung eines endlichen Richtgutes (7), wie Bleche, Bänder, Profile, Rohre und insbesondere von draht- und mehrdrahtförmigem Richtgut mit zwei Aufnehmern (1, 2) für die Enden des Richtgutes (7), auf das ein definiertes Biegemoment aufbringbar ist und mit einer Meßvorrichtung (8) zur Ermittlung der Krümmungen des Richtgutes (7), dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnehmer (1, 2), der eine (1) ortsfest und der andere (2) in der Einspannebene des Richtgutes (7) waagrecht beweglich, jeweils in entgegengesetzte Drehrichtungen derart drehbar gelagert sind, daß das eingespannte Richtgut (7) konvex oder konkav verformbar ist, und daß jeder Aufnehmer (1, 2) mit einem Antrieb zur Aufbringung definierter Drehmomente ausgerüstet ist.
2. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßvorrichtung (8) einen Drehwinkelmesser für mindestens einen Aufnehmer (1, 2) und einen Abstandsmesser zur Messung des Abstands zwischen den beiden Aufnehmern (1 und 2) enthält.
3. Gerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß alle Daten der Verformung und der aufgetragenen Momente inklusive deren Richtung einem Speicher (9) und/oder einer Auswerteeinheit (10) zugeführt werden.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

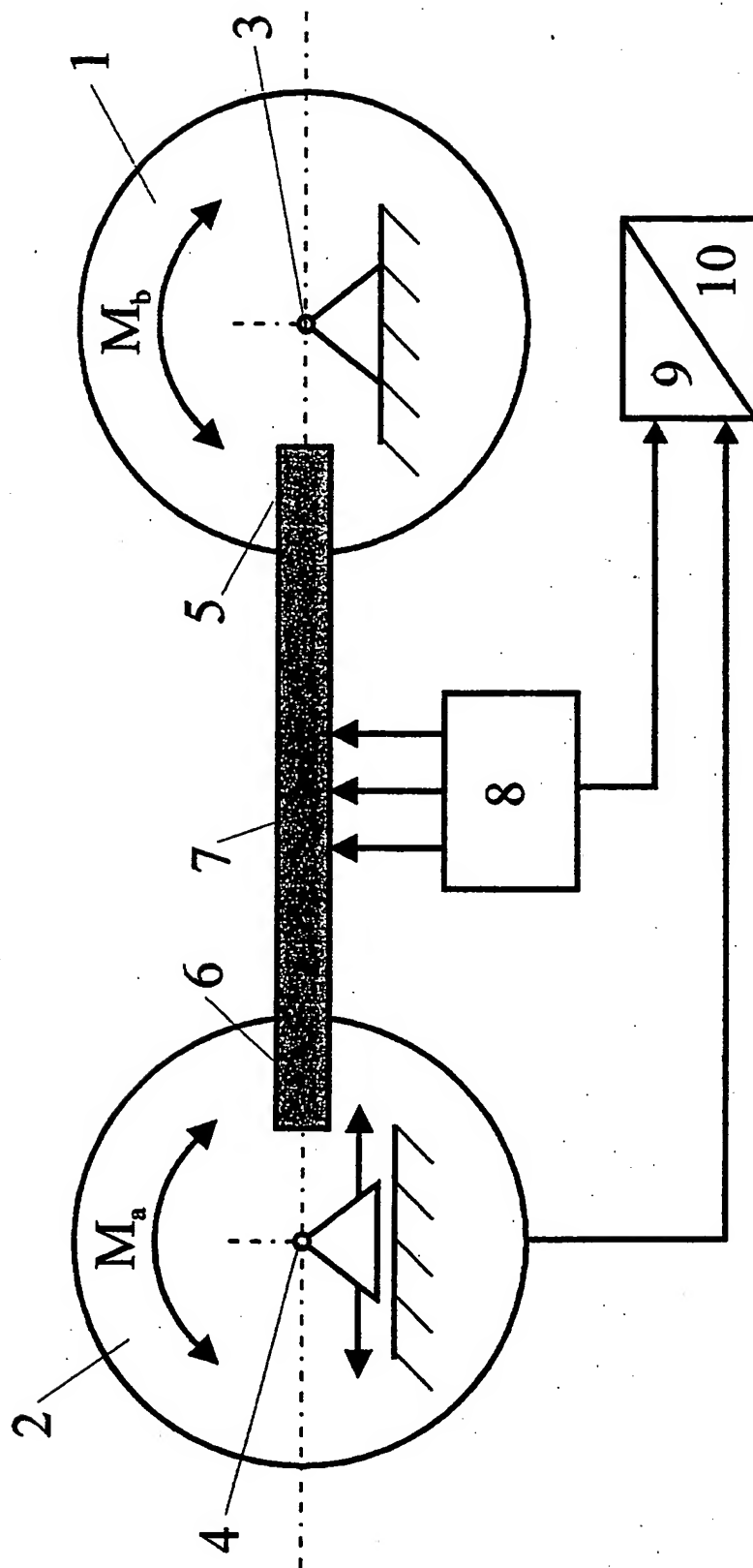


Fig. 1

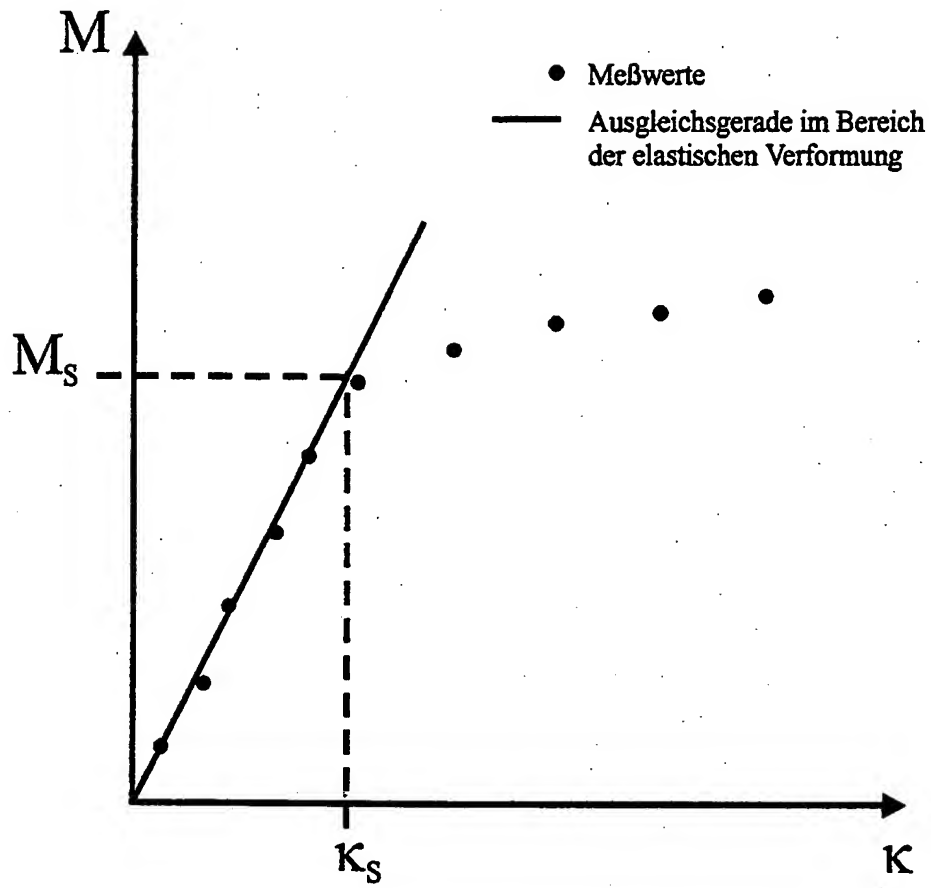


Fig. 2

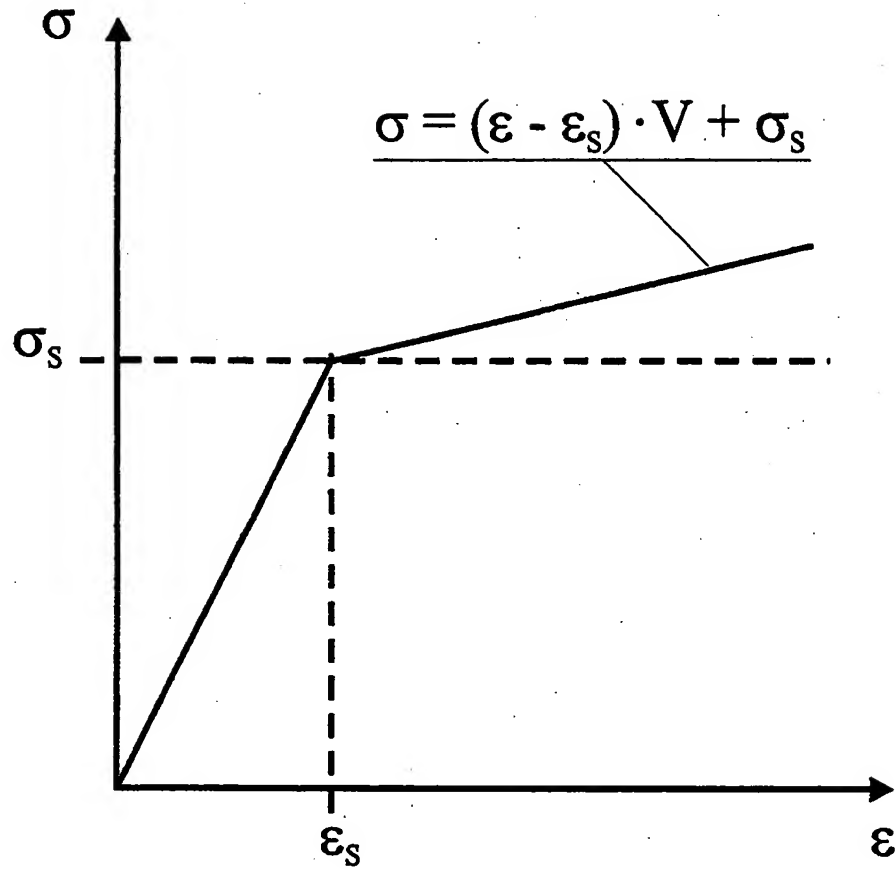


Fig. 3

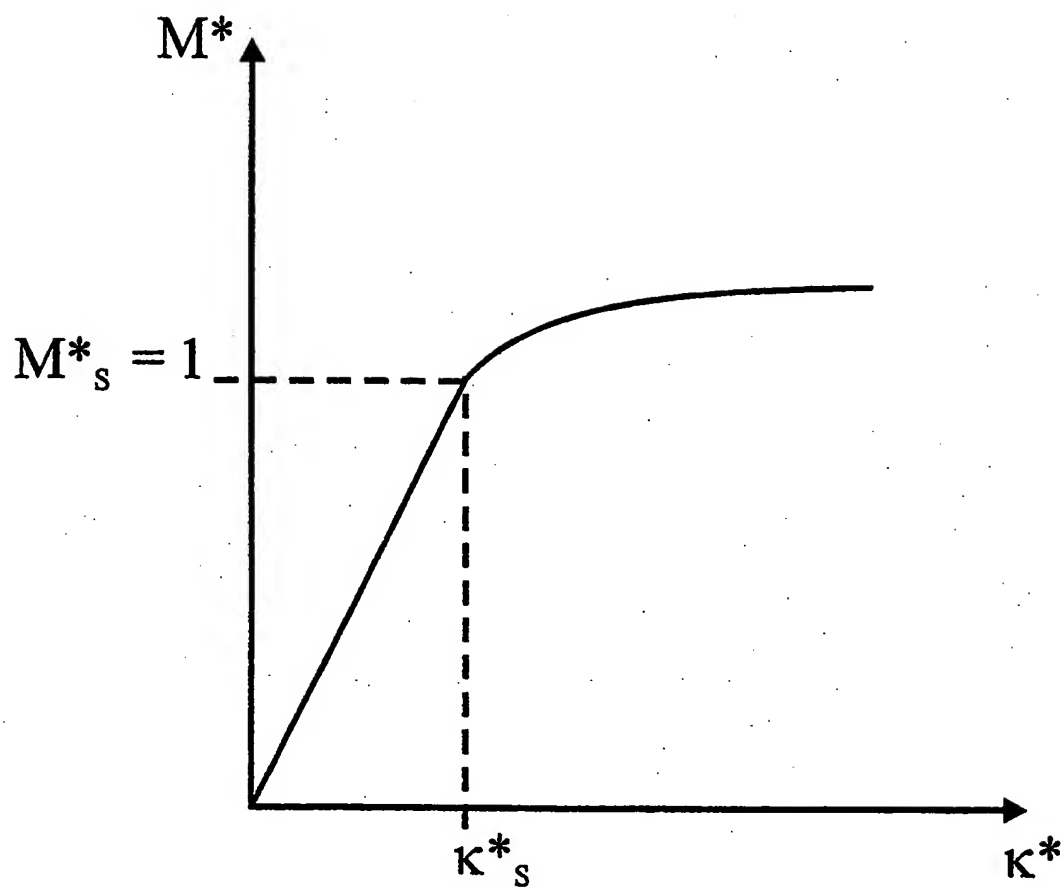


Fig. 4

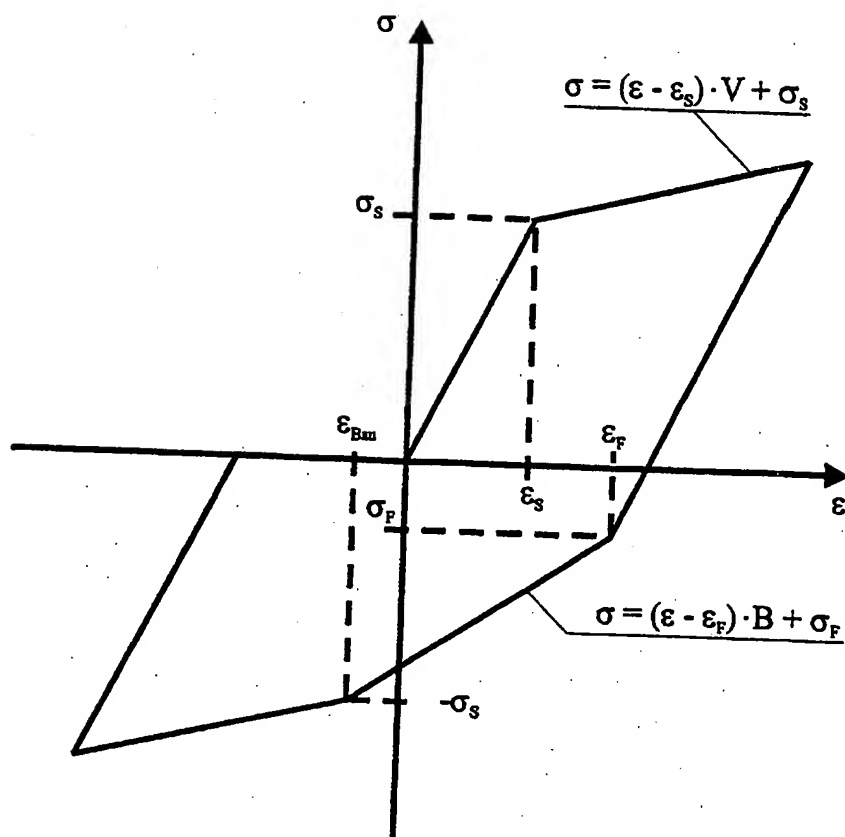


Fig. 5